

10/509,381

**(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)**

**(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international**



**(43) Date de la publication internationale
9 octobre 2003 (09.10.2003)**

PCT

**(10) Numéro de publication internationale
WO 03/084057 A2**

(51) Classification internationale des brevets⁷ : H03F 3/58

31-33, Avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil cedex (FR). **ROUSSEAU, François** [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 31-33, Avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil cedex (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR03/00861

(22) Date de dépôt international : 18 mars 2003 (18.03.2003)

(74) Mandataires : DOMINGUEZ, Mario etc.; Thales Intellectual Property, 13, av. du Prés. Salvador Allende, F-94117 Arcueil cedex (FR).

(25) Langue de dépôt : français

(81) État désigné (national) : US.

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/03974 29 mars 2002 (29.03.2002) FR

(84) États désignés (régional) : brevet européen (EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE).

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
THALES [FR/FR]; 173, boulevard Haussmann, F-75008 Paris (FR).

Publiée :
— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **JARNO, Jean-François** [FR/FR]; Thales Intellectual Property,

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: METHOD OF MEASURING MICROWAVE POWER AND DEVICE FOR CARRYING OUT SAID METHOD

(54) Titre : PROCEDE DE MESURE DE PUISSANCE HYPERFREQUENCE ET DISPOSITIF DE MISE EN OEUVRE DU PROCEDE

(57) Abstract: The invention relates to a method of measuring the RF output power (Ps) from a microwave tube amplifier (10), said tube comprising: an electron gun which supplies an electron beam; an RF interaction circuit between an RF signal and the electron beam, said RF circuit having an amplified RF signal output; a collector having at least two electrodes in order to capture the electron beam. The RF output power from the amplified RF signal is determined from the measurement of the current Ic1 from the first electrode, which is closest to the gun, the RF output power (Ps) being calculated using a pre-determined relation between said current and the output power from the amplifier. The invention also relates to a device comprising measuring means (74) which is used to carry out the inventive measuring method. The inventive method is suitable for microwave tube amplifiers, klystrons, progressive wave tubes, etc.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de mesure de la puissance RF de sortie (Ps) d'un amplificateur à tube hyperfréquence (10), le tube circuit RF d'interaction entre un signal RF et le faisceau ayant au moins deux électrodes pour recueillir le faisceau d'électrons. La puissance de sortie RF en sortie de signal RF amplifié est déterminée à partir de la mesure du courant Ic1 issu de la première électrode la plus proche du canon, un calcul de la puissance RF de sortie (Ps) étant effectué par une relation prédéterminée entre ledit courant et la puissance de sortie de l'amplificateur. L'invention concerne aussi un dispositif comportant des moyens de mesure (74) pour la mise en œuvre du procédé de mesure selon l'invention.

WO 03/084057 A2

PROCEDE DE MESURE DE PUISSANCE HYPERFREQUENCE ET DISPOSITIF DE MISE EN ŒUVRE DU PROCEDE

Cette invention concerne un amplificateur équipé de tubes hyperfréquences à ondes progressives (TOP) qui constituent le dernier étage des émetteurs de télécommunications mis en œuvre dans les liaisons sol-satellites et satellites-sol. Ils peuvent aussi être utilisés dans d'autres types d'émetteurs destinés par exemple à des applications militaires, scientifiques,
5 de métrologie, télécommunications, liaisons terrestres, faisceaux hertziens...

La figure 1 montre le schéma de principe de ce dernier étage qui comporte un tube hyperfréquences 10 de type TOP attaqué par un signal U_e qui est une onde électromagnétique modulée provenant d'un préamplificateur 12 et des étages de faible niveau. Ce signal est de l'ordre de
10 quelques dizaines de milliwatts à une fréquence comprise dans une bande « télécommunication », par exemple 12.75 – 14.50 GHz. L'amplificateur attaque une charge qui est dans cet exemple une antenne 14 d'émission. Une alimentation 15 fournit les différentes hautes tensions nécessaires au
15 fonctionnement du tube.

Le TOP 10 est à collecteur dépressé. Sa sortie est sur guide rectangulaire ou coaxial, par exemple WR 75. Un filtre 16 à la sortie du TOP est imposé par les normes « télécommunications » ; il permet d'éviter l'émission de fréquences indésirables qui seraient générées en raison des
20 non-linéarités du TOP. Un circulateur 18 après le filtre 16 évite toute réflexion intempestive d'énergie hyperfréquence vers le tube.

Un premier coupleur 20 en sortie du circulateur 18, suivi des transitions et câbles adéquats, permet de rendre disponible sur une face avant de l'amplificateur, un échantillon de la puissance de sortie P_s de
25 l'amplificateur pour mesure, en cas de besoin, par l'utilisateur.

Un deuxième coupleur 22 en sortie du circulateur, suivi d'une détection haute fréquence (HF) 24 et des câbles et transitions adéquats, permet la génération d'un signal représentatif de la puissance de sortie P_s , nécessaire au bon fonctionnement du dispositif de contrôle et de régulation
30 (non représenté sur la figure) du TOP.

Un troisième coupleur 26 suivi d'une autre détection HF 28 permet, de même, la génération d'un signal représentatif de la puissance réfléchie P_r par l'utilisateur, dans cet exemple par l'antenne 14 d'émission.

Ce signal de puissance réfléchi est souvent mis en œuvre dans un système à seuil, ce qui permet de sauvegarder tout l'équipement en cas de désadaptation importante de cette utilisation. Aux deuxième 22 et troisième 26 coupleurs sont, bien entendu, associées des tables et, par exemple, des
5 cartes d'étalonnages.

Ces dispositifs de mesure en sortie du TOP sont coûteux, d'une part, du fait du nombre de coupleurs, détecteurs RF et transitions HF utilisés et, d'autre part, par les réglages et étalonnages nécessaires en fonction de la puissance et des fréquences d'émission.

10 La figure 2 montre le schéma simplifié d'un tube à ondes progressives 30. Un faisceau d'électrons 32, relativement filiforme et cylindrique, émis par une cathode 34 du TOP, circule le long de l'axe ZZ' d'une hélice métallique 36. Un signal d'entrée RF à amplifier est injecté à une première extrémité 38 de l'hélice, à la fréquence F. L'interaction entre le
15 faisceau d'électrons 32 et le signal électromagnétique se propageant sur l'hélice 36 est telle que les électrons se regroupent en paquets périodiques, à la fréquence F, et cèdent leur énergie au signal d'entrée radiofréquence (RF) qui se trouve être ainsi amplifié et extrait à l'autre extrémité 40 de l'hélice (sortie RF). Très schématiquement, les électrons cèdent ainsi 20 à 30% de
20 leur énergie au signal RF d'entrée. Ce pourcentage de cession d'énergie (20 à 30 %) est appelé « rendement électrique ». Après avoir quitté l'hélice, les électrons pénètrent dans un collecteur 42 où ils devraient dissiper, sous forme thermique, les 80 à 70% de leur énergie cinétique restante.

En réalité, le collecteur 42 est porté à un potentiel V_c qui permet
25 de ralentir les électrons avant qu'ils ne frappent les parois du collecteur. La valeur maximum de la tension V_c de collecteur est imposée par l'interdiction de réfléchir des électrons vers l'hélice. La figure 2 illustre ce phénomène.

Dans l'exemple proposé, les électrons entrent dans l'hélice à la vitesse V_1 correspondant à une tension de 10 Kv. Après avoir cédé 2 kW, ils
30 sortent de l'hélice à une vitesse moindre V_2 , qui correspond à 8 Kv puisque le faisceau est de 1A. La tension V_c du collecteur a été choisie égale à 6 kV par rapport à la cathode. Aucun électron n'est donc réfléchi. La tension de collecteur V_c aurait même pu être choisie beaucoup plus basse par exemple à 2 Kv, valeur au-delà de laquelle les électrons auraient été réfléchis. En fait,
35 les électrons ne sortent pas à la vitesse V_2 , mais avec une dispersion de

vitesses, souvent assez large, autour de V_2 , d'où la marge prise dans le choix de V_c .

Le freinage des électrons par la tension V_c de collecteur réduit l'énergie à dissiper thermiquement sur les parois, et donc l'énergie prélevée à l'alimentation haute tension du faisceau d'électrons. Le rendement global devient alors plus important.

De plus, cette augmentation du rendement est d'autant plus importante qu'on utilise non pas un seul collecteur déprimé, mais un collecteur à plusieurs électrodes ou « plusieurs étages ». La figure 3 montre un tel tube à ondes progressives comportant un collecteur à quatre étages E1, E2, E3, E4. Le premier étage E1 a pour rôle de freiner et de recueillir les électrons les plus lents, le dernier étage E4, en fond de collecteur, les électrons les plus rapides.

La figure 4 représente une coupe dans la zone des électrodes E1, E2, E3 et E4 du collecteur d'un tel tube TOP à quatre étages. Le faisceau d'électrons 32, en sortie de l'hélice 36, arrivant dans la zone des collecteurs, se disperse selon des trajectoires directes 52 (en traits pleins) et des trajectoires secondaires 54 vers les quatre électrodes. Les lignes en traits pointillés montrent les équipotentielles 56.

Des mesures récentes effectuées dans le cadre des améliorations de la mise en œuvre de TOP dans les émetteurs de télécommunications ont montré qu'il existe, par exemple, dans le cas d'un TOP à collecteur déprimé à deux étages, une relation entre la puissance de sortie P_s haute fréquence du TOP et le courant de collecteur. En effet, le courant I_{c1} généré par le premier étage E1 du collecteur est une fonction univoque et croissante du taux de modulation du courant faisceau et donc de la puissance de sortie P_s en haute fréquence.

Un premier objet de l'invention est de simplifier les mesures de puissances de sortie d'un amplificateur hyperfréquences à tubes.

Un autre objet est de diminuer le coût de l'amplificateur en supprimant des pièces et des réglages nécessaires dans l'état de l'art de mesure de puissance des amplificateurs à tubes hyperfréquences.

A cet effet, l'invention propose un procédé de mesure de la puissance RF de sortie d'un amplificateur à tube hyperfréquence, le tube comportant un canon à électrons fournissant un faisceau d'électrons, un

circuit RF d'interaction entre un signal RF et le faisceau d'électrons, le circuit RF ayant une sortie de signal RF amplifié, un collecteur ayant au moins deux électrodes pour recueillir le faisceau d'électrons, ces électrodes étant respectivement séparées du canon par des distances croissantes, la première électrode étant la plus proche du canon, caractérisé en ce que la puissance de sortie RF en sortie de signal RF amplifié est déterminée à partir de la mesure du courant I_{c1} issu de la première électrode, un calcul de la puissance RF de sortie étant effectué par une relation prédéterminée entre ledit courant I_{c1} et la puissance de sortie de l'amplificateur.

La simplification proposée consiste donc à remplacer la mesure directe et/ou la détection HF de la puissance RF de sortie P_s par la seule mesure du courant I_{c1} de la première électrode du collecteur du tube.

Cette mesure de I_{c1} est suffisamment précise pour satisfaire l'indication de puissance de face avant de l'amplificateur et surtout pour les nécessités de contrôle de l'ensemble de l'alimentation du TOP, la logique de traitement de l'amplificateur et les différents traitements de signaux.

La mesure du courant I_{c1} peut se faire directement en basse tension comme nous verrons plus loin. Cette mesure permet donc, avec une précision potentiellement meilleure que celle de l'état de l'art, de supprimer l'ensemble des éléments HF associés aux mesures de puissance de sortie, soit, deux coupleurs de mesures de la puissance P_s de sortie, une diode RF de mesure, les connecteurs et les coaxiaux de liaison aux châssis.

L'invention concerne aussi un amplificateur à tube hyperfréquences, le tube comportant un canon à électrons fournissant un faisceau d'électrons, un circuit RF d'interaction entre un signal RF et le faisceau d'électrons, le circuit RF ayant une sortie de signal RF amplifié, un collecteur ayant au moins deux électrodes pour recueillir le faisceau d'électrons, ces électrodes étant respectivement séparées du canon par des distances croissantes, la première électrode étant la plus proche du canon, caractérisé en ce qu'il comporte des premiers moyens de mesure du courant I_{c1} issu de la première électrode et des seconds moyens de détermination de la puissance de sortie RF à partir de la mesure de ce courant I_{c1} .

L'invention sera mieux comprise à l'aide d'exemples de réalisations selon l'invention, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, montre le schéma de principe d'un amplificateur comportant un tube hyperfréquences à ondes progressives ;
- la figure 2, déjà décrite montre le schéma simplifié d'un tube à ondes progressives (TOP) ;
- 5 - la figure 3, déjà décrite, montre un TOP ayant un collecteur à plusieurs électrodes ou « plusieurs étages » ;
- la figure 4, déjà décrite, montre une coupe dans la zone des électrodes d'un TOP à quatre étages ;
- la figure 5 montre le schéma de principe d'un amplificateur selon l'invention comportant un TOP ;
- 10 - les figures 6a, 6b et 6c montrent des courbes de variation de la puissance de sortie P_s en fonction du courant de la première électrode d'un TOP à deux étages ;
- les figures 7a, 7b, 7c et 7d montrent des courbes de variation de la puissance de sortie P_s en fonction du courant de la première électrode d'un TOP à quatre étages ;
- 15 - la figure 8 montre un circuit de mesure du courant de collecteur de l'amplificateur de la figure 5 selon l'invention.

La figure 5 montre un schéma de principe d'un amplificateur 70 selon l'invention comportant un TOP. L'amplificateur 70 comporte le tube hyperfréquences 10 de type TOP à collecteur déprimé attaqué par un signal d'entrée RF provenant du préamplificateur 12. L'amplificateur attaque à travers le filtre 16 et le circulateur 18 l'antenne 14 d'émission. Une alimentation 72 fournit les différentes hautes tensions nécessaires au fonctionnement du tube.

L'amplificateur comporte, en outre, un circuit 74 de mesure du courant I_{c1} issu de la première électrode E1 du TOP.

La relation entre la puissance de sortie P_s et le courant I_{c1} , dans le cas d'un TOP ayant un collecteur à deux étages ($N=2$), est sensiblement assimilable à une droite telle que $P_s = k \cdot I_{c1}$, k étant une constante. Cette relation pour ce type de TOP varie ou peut varier suivant la fréquence de fonctionnement dans la bande allouée, cette relation comportera une formule d'interpolation de la fréquence d'émission. On entrera alors dans un circuit de traitement 76 de l'amplificateur la relation $P_s = f(I_{c1})$ à plusieurs

fréquences et une formule d'interpolation pour toutes fréquences autres que les précédentes.

Dans le cas d'un collecteur à deux étages, souvent rencontré dans les TOP pour émetteurs au sol, les relations, selon les bandes de fréquence d'émission, entre la puissance de sortie P_s en fonction du courant I_{c1} de la première électrode E1, $P_s = f(I_{c1})$, sont très proches de droites. Les figures 6a, 6b et 6c montrent respectivement de telles relations $P_s = f(I_{c1})$ respectivement pour une fréquence F d'émission à 30 GHz, dans la bande C et dans une bande de fréquence de 12,75 – 14,5 GHz.

La figure 6a représente une courbe 80, de la puissance de sortie P_s en fonction du courant I_{c1} collecteur du premier étage d'un TOP, de puissance nominale de sortie de 12W, fonctionnant à 30GHz, Cette courbe 80 peut être approchée par une droite 82 d'équation :

$$P_s = 1,1491.I_{c1} + 2,2931 \quad (1)$$

P_s étant exprimée en W et I_{c1} en mA.

La figure 6b représente une courbe 64 la puissance de sortie P_s en fonction du courant I_{c1} d'un TOP de puissance nominale 750W fonctionnant dans la bande C. Cette courbe 84 peut être approchée par une droite 86 d'équation :

$$P_s = 3,148.I_{c1} + 110,2 \quad (2)$$

La figure 6c représente une autre courbe 88 de la puissance de sortie P_s en fonction du courant I_{c1} du TOP de la figure 5b de 750W fonctionnant dans la bande de fréquences 12,75- 14,5 GHz. Cette autre courbe 88 peut être approchée par une droite 90 d'équation :

$$P_s = 2,9243.I_{c1} + 60,412 \quad (3)$$

Sur des dynamiques de 10 dB de puissance de sortie P_s du TOP, l'écart de mesure entre la puissance de sortie mesurée directement par des moyens classiques et la puissance de sortie P_s du TOP mesurée indirectement à partir du courant I_{c1} de la première électrode, cet écart reste inférieur à 10 % et dépend, pour les faibles niveaux de la sensibilité de la mesure du courant collecteur I_{c1} de l'électrode E1.

Dans le cas des TOP comportant plus de deux étages, par exemple, quatre étages ($N=4$) comme ceux utilisés sur les TOP satellites, des mesures, pour différentes fréquences d'émission du TOP, de la puissance de sortie P_s du TOP en fonction du courant de collecteur I_{c1} ont

été de la même façon effectuées. Ces mesures sont représentées par les courbes des figures 7a, 7b, 7c et 7d. Ces courbes sont assimilables à un polynôme croissant monotone ; elles sont également assimilables à des droites, bien qu'avec plus d'approximations que dans le cas d'un TOP à deux étages.

Dans le cas de la figure 7a du TOP à quatre étages fonctionnant à 21.95 GHz, la puissance de sortie P_s en fonction du courant I_{c1} collecteur du premier étage (courbe 100), peut être approchée par une droite d'équation :

$$P_s = 6,3524 \cdot I_{c1} + 21,916 \quad (4)$$

Dans le cas de la figure 7b le TOP à quatre étages fonctionne à 20.2 GHz, la puissance de sortie P_s en fonction du courant I_{c1} collecteur du premier étage (courbe 104), peut être approchée par une droite d'équation :

$$P_s = 5,1389 \cdot I_{c1} + 21,402 \quad (5)$$

Dans le cas de la figure 7c le TOP à quatre étages fonctionne à 18,7 GHz, la puissance de sortie P_s en fonction du courant I_{c1} collecteur du premier étage (courbe 108), peut être approchée par la fonction (courbe 110) d'équation :

$$P_s = 0,0174 \cdot I_{c1}^3 - 0,6093 \cdot I_{c1}^2 + 10,281 \cdot I_{c1} + 7,4151$$

Dans le cas de la figure 7d, le TOP à quatre étages fonctionne à 12,534 GHz, la puissance de sortie P_s en fonction du courant I_{c1} collecteur du premier étage (courbe 112), peut être approchée par la fonction (courbe 114) d'équation :

$$P_s = 0,0705 \cdot I_{c1}^3 - 2,0364 \cdot I_{c1}^2 + 22,106 \cdot I_{c1} + 4,8406$$

Donc suivant la précision recherchée, on entrera dans le circuit de traitement 76 de l'amplificateur une relation $P_s = f(I_{c1})$ plus ou moins élaborée et ceci en plusieurs points de fréquence de la bande allouée. Et, comme précédemment, une interpolation permettra de fonctionner à d'autres fréquences.

La figure 8 montre un circuit de mesure du courant de collecteur I_{c1} du premier étage E1 du TOP 10 de l'amplificateur de la figure 5 selon l'invention. L'alimentation haute tension 72 fournit à travers un transformateur TX1 une tension alternative U_1 à un pont redresseur haute tension P1
5 comportant des diodes D1, D2, D3, D4 de redressement fournissant la haute tension continue V_{c1} et le courant I_{c1} de la première électrode E1 du TOP.

Un transformateur de courant TX2 du circuit de mesure 74 comporte un primaire 120 en série avec un fil 122 d'alimentation en courant alternatif du pont redresseur haute tension P1 et un secondaire 124 générant
10 une tension alternative U_{c1} proportionnelle au courant alternatif dans le fil 122 représentative du courant I_{c1} d'alimentation de l'électrode E1. La tension U_{c1} , après redressement par un pont P2 de diodes D6, D7, D8, D9 est amplifiée par un amplificateur opérationnel classique A1 qui fournit, à sa sortie Sa, une tension U_{s1} proportionnelle au courant I_{c1} de la première
15 électrode E1.

Le circuit de traitement 76 de type connu établit la relation, telle que décrite précédemment, entre la tension U_{s1} sortie du détecteur 74 représentative du courant I_{c1} et la puissance de sortie P_s de l'amplificateur 70. Ce circuit de traitement 76 peut être un calculateur utilisant par exemple
20 un microprocesseur ou tout autre dispositif de calcul.

La relation $P_s = f(I_{c1})$, qui comme dit précédemment dans le cas d'un collecteur à deux étages, est sensiblement assimilable à une droite, varie ou peut varier, suivant la fréquence de fonctionnement dans la bande allouée. On entrera alors dans le circuit calculateur 76 de l'amplificateur la
25 relation $P_s = f(I_{c1})$ à plusieurs fréquences et une formule d'interpolation pour toutes fréquences autres que les précédentes.

Dans cette réalisation de la figure 5 selon l'invention les coupleurs suivis des transitions et câbles adéquats nécessaires aux mesures de puissance de sortie ont été supprimés rendant l'amplificateur plus simple et
30 économique dans sa réalisation.

Le troisième coupleur 26 pour la mesure de la puissance réfléchie, P_r , par l'utilisateur, peut être aussi supprimé dans la mesure où le circulateur 18 assure la protection du TOP.

Dans le cas des TOP dont le collecteur déprimé présente plus de
35 deux étages, par exemple à quatre étages comme ceux utilisés sur les TOP

satellites. Les courbes de puissance de sortie P_s du TOP, fonction du courant de la première électrode I_{c1} , montrées aux figures 7a, 7b, 7c et 7d, sont assimilables à un polynôme croissant monotone ; elles sont également assimilables à des droites, bien qu'avec plus d'approximations que dans le cas des TOP à deux étages.

En résumé, l'amplificateur selon l'invention comporte les avantages suivants :

Mesure et/ou détection de puissance hyperfréquence de sortie d'un TOP remplacée par une simple mesure de courant.

Cette mesure de courant continu utilise une conversion AC-DC ce qui renforce encore le fait qu'elle soit peu coûteuse

- Elimination de :

- un ou deux coupleurs

- une ou deux transitions

- diode (s) de détection

- de connecteurs et coaxiaux

- d'étalonnages délicats de puissance

- Gain important en poids et volume par rapport aux accessoires nécessaires dans l'art antérieur.

REVENDICATIONS

1. Procédé de mesure de la puissance RF de sortie (P_s) d'un amplificateur à tube hyperfréquence (10, 30, 50), le tube comportant un canon à électrons fournissant un faisceau (32) d'électrons, un circuit RF d'interaction (36) entre un signal RF et le faisceau d'électrons, le circuit RF ayant une sortie de signal RF amplifié, un collecteur ayant au moins deux électrodes (E1, E2, E3, E4) pour recueillir le faisceau d'électrons, ces électrodes étant respectivement séparées du canon par des distances croissantes, la première électrode (E1) étant la plus proche du canon, caractérisé en ce que la puissance de sortie RF en sortie de signal RF amplifié est déterminée à partir de la mesure du courant (I_{c1}) issu de la première électrode, un calcul de la puissance RF de sortie (P_s) étant effectué par une relation prédéterminée entre ledit courant et la puissance de sortie de l'amplificateur.
2. Procédé de mesure de la puissance RF selon la revendication 1, caractérisé en ce que tube hyperfréquences est un TOP.
3. Procédé de mesure de la puissance RF selon la revendication 2, caractérisé en ce que le collecteur du TOP comporte deux électrodes et en ce que la relation entre la puissance RF de sortie P_s et le courant I_{c1} de la première électrode est sensiblement assimilable à une droite telle que $P_s = k.I_{c1}$, k étant une constante.
4. Procédé de mesure de la puissance RF selon la revendication 2, caractérisé en ce que le collecteur du TOP (50) comporte plus de deux étages et en ce que la relation de la puissance RF de sortie (P_s) du TOP en fonction du courant de collecteur (I_{c1}) de la première électrode (E1) est assimilable à un polynôme croissant monotone.
5. Procédé de mesure de la puissance RF selon l'une des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que la relation entre la puissance RF de sortie (P_s) et le courant (I_{c1}) de la première électrode (E1) comporte une formule d'interpolation de la fréquence d'émission du TOP.

6. Procédé de mesure de la puissance RF selon la revendication 2, caractérisé en ce que le collecteur du TOP (50) comporte plus de deux étages et en ce que la relation de la puissance RF de sortie (P_s) en fonction du courant de collecteur (I_{c1}) de la première électrode est assimilable à une droite, bien qu'avec plus d'approximations que dans le cas d'un TOP à deux étages.

7. Amplificateur à tube hyperfréquences (10, 30, 50), le tube comportant un canon à électrons fournissant un faisceau (32) d'électrons, un circuit RF d'interaction (36) entre un signal RF et le faisceau d'électrons, le circuit RF ayant une sortie de signal RF amplifié, un collecteur ayant au moins deux électrodes (E1, E2, E3, E4) pour recueillir le faisceau d'électrons, ces électrodes étant respectivement séparées du canon par des distances croissantes, la première électrode (E1) étant la plus proche du canon, caractérisé en ce qu'il comporte des premiers moyens de mesure (74) du courant (I_{c1}) issu de la première électrode et des seconds moyens de détermination (76) de la puissance de sortie RF à partir de la mesure de ce courant (I_{c1}).

8. Amplificateur à tube hyperfréquences selon la revendication 7, caractérisé en ce que les premiers moyens (74) comportent un transformateur (TX2) de courant alternatif d'alimentation I_{ca} de la première électrode en une tension de mesure (V_{c1}) proportionnelle au dit courant.

9. Amplificateur à tube hyperfréquences selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'une alimentation haute tension (72) de l'amplificateur comportant un TOP fournit à travers un transformateur (TX1) une tension alternative U_1 à un pont redresseur haute tension (P1) comportant des diodes (D1, D2, D3, D4) de redressement fournissant la haute tension continue V_{c1} et le courant I_{c1} de la première électrode (E1) du TOP, le transformateur de courant (TX2) du circuit de mesure (74) comportant un primaire (120) en série avec un fil (122) d'alimentation en courant alternatif du pont redresseur haute tension (P1) et un secondaire (124) générant une tension alternative U_{c1} proportionnelle au courant alternatif I_{ca} dans le fil (122) représentative du courant I_{c1} d'alimentation de la première électrode

(E1), la tension alternative U_{c1} , après redressement par un pont (P2) de diodes (D6, D7, D8, D9) étant amplifiée par un amplificateur opérationnel classique (A1) fournissant à sa sortie (Sa) une tension U_{s1} proportionnelle au courant I_{c1} de la première électrode (E1).

5

10. Amplificateur à tube hyperfréquences selon l'une des revendications 7 à 9, caractérisé en ce que les seconds moyens comportent un circuit de traitement (76) de type connu établissant la relation entre la tension U_{s1} sortie du détecteur (74) représentative du courant I_{c1} et la

10

11. Amplificateur à tube hyperfréquences selon la revendication 10, caractérisé en ce que le circuit de traitement (76) peut être un calculateur utilisant par exemple un microprocesseur ou tout autre dispositif de calcul.

15

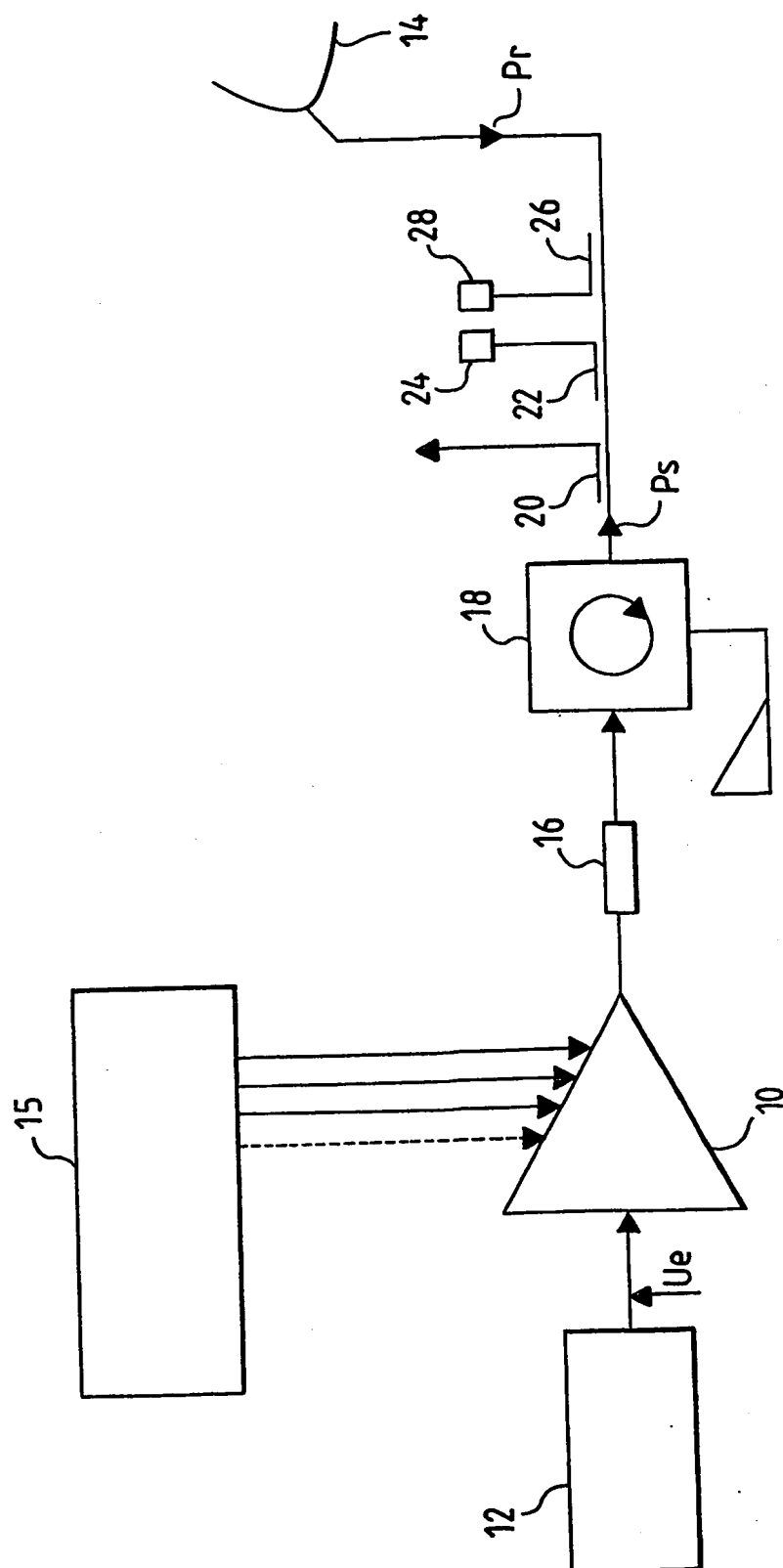
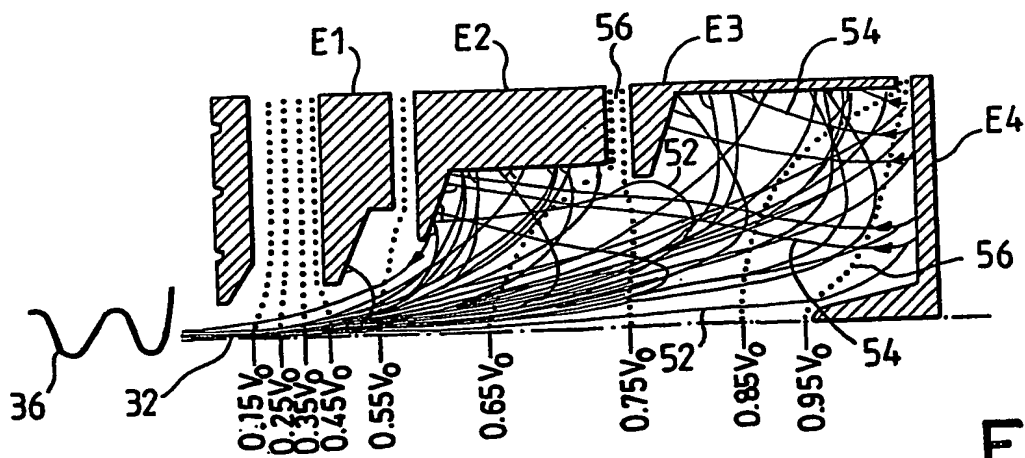
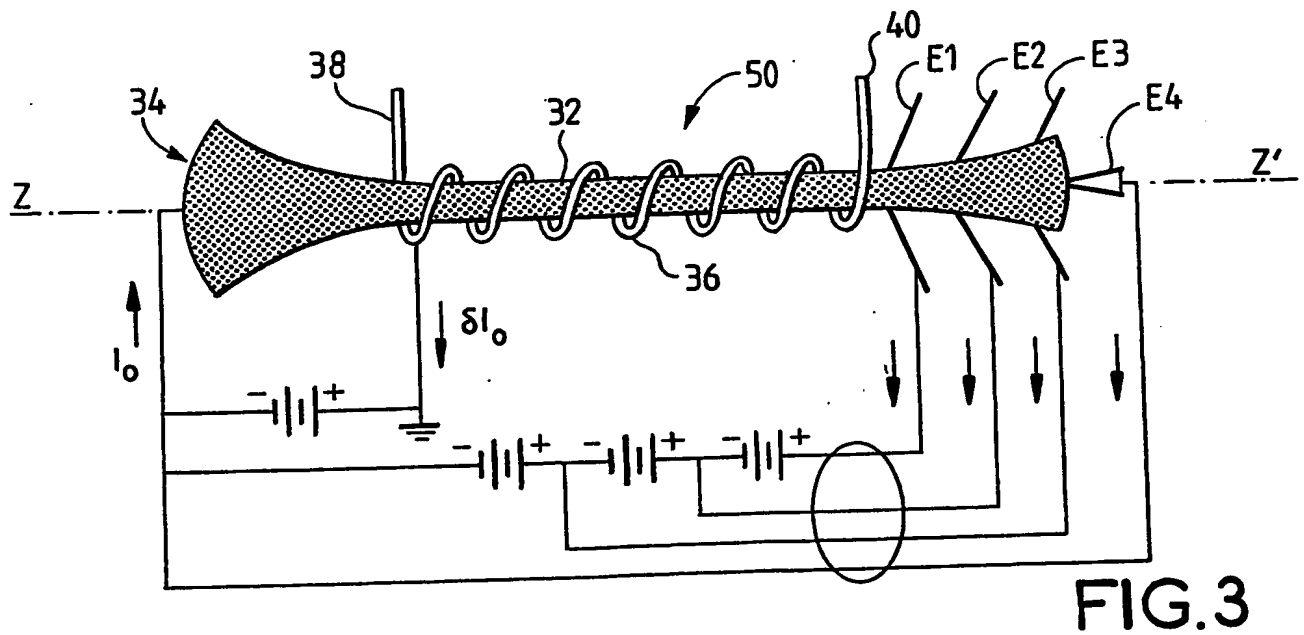
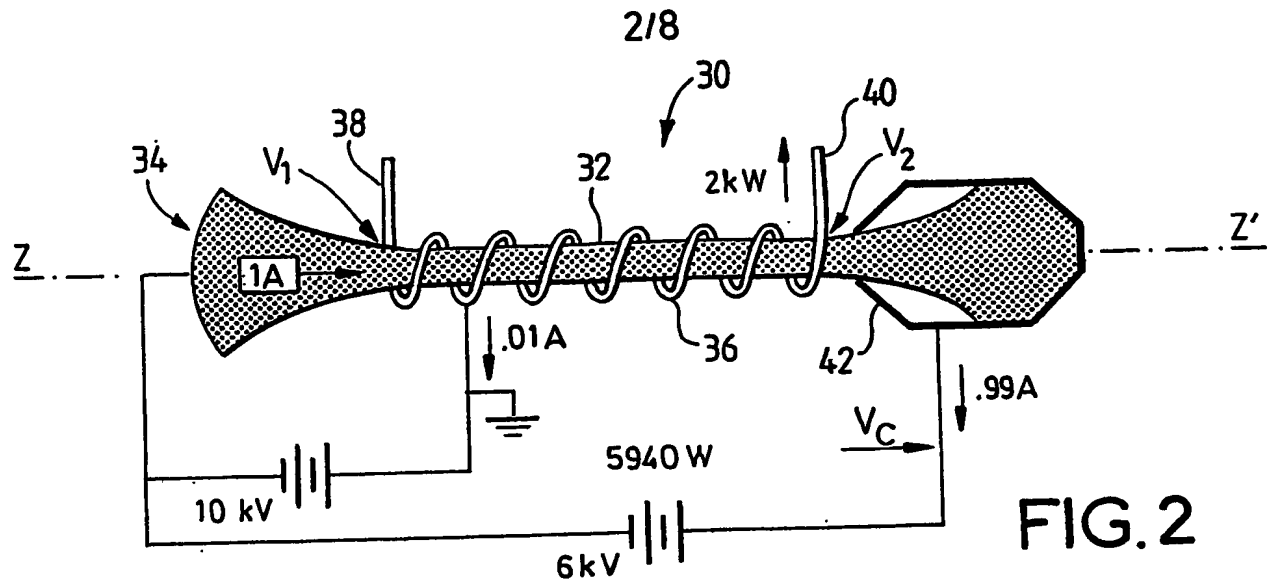


FIG.1



3/8

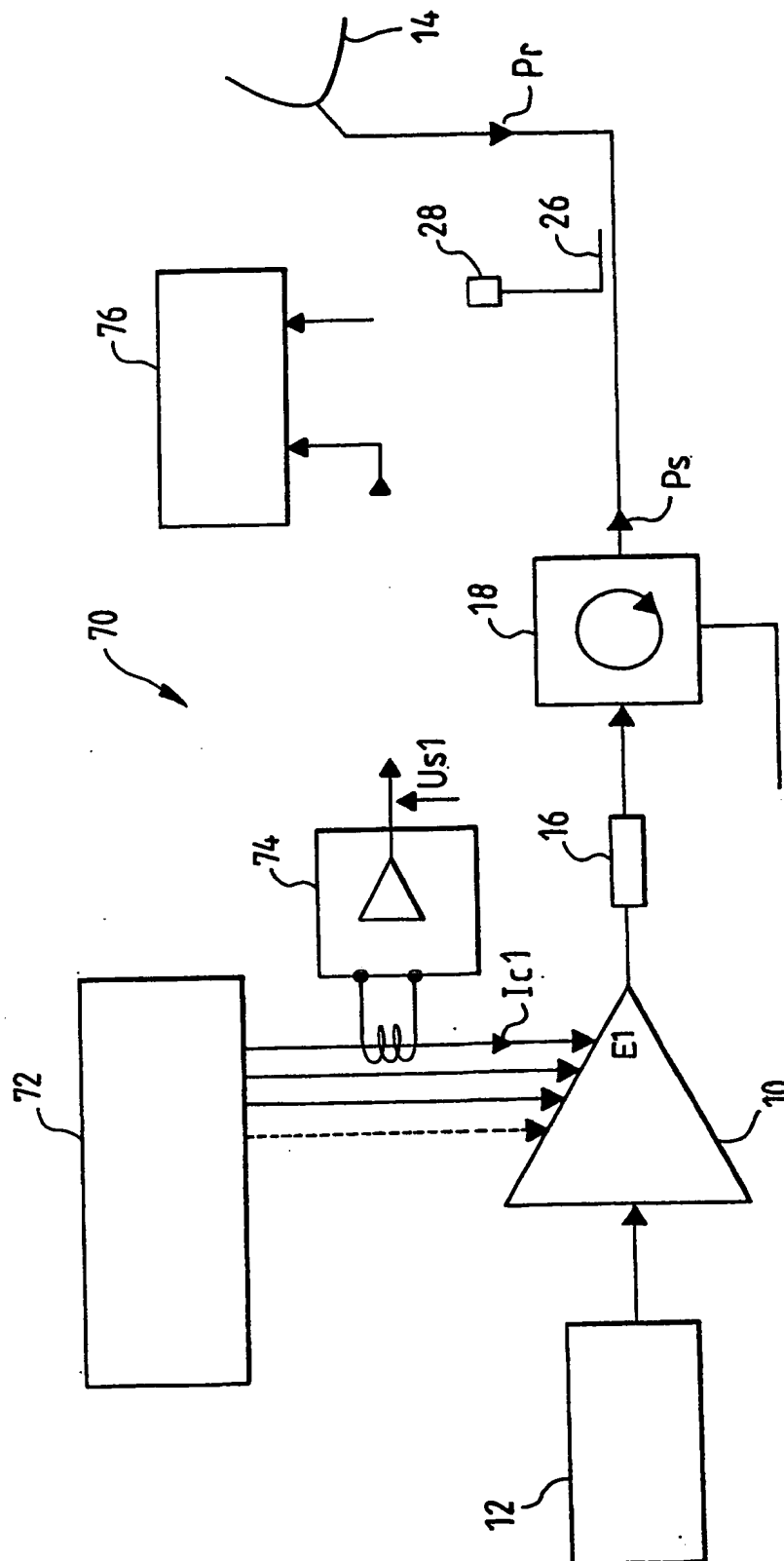


FIG.5

4/8

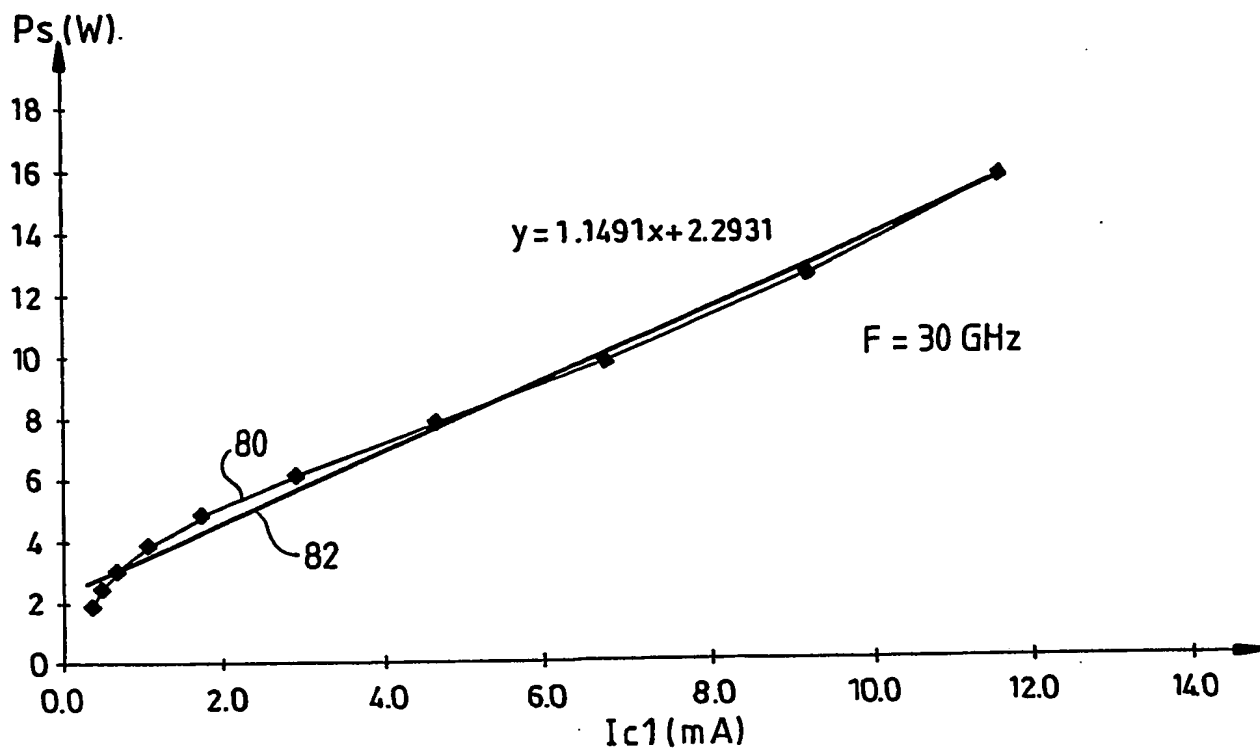


FIG. 6a

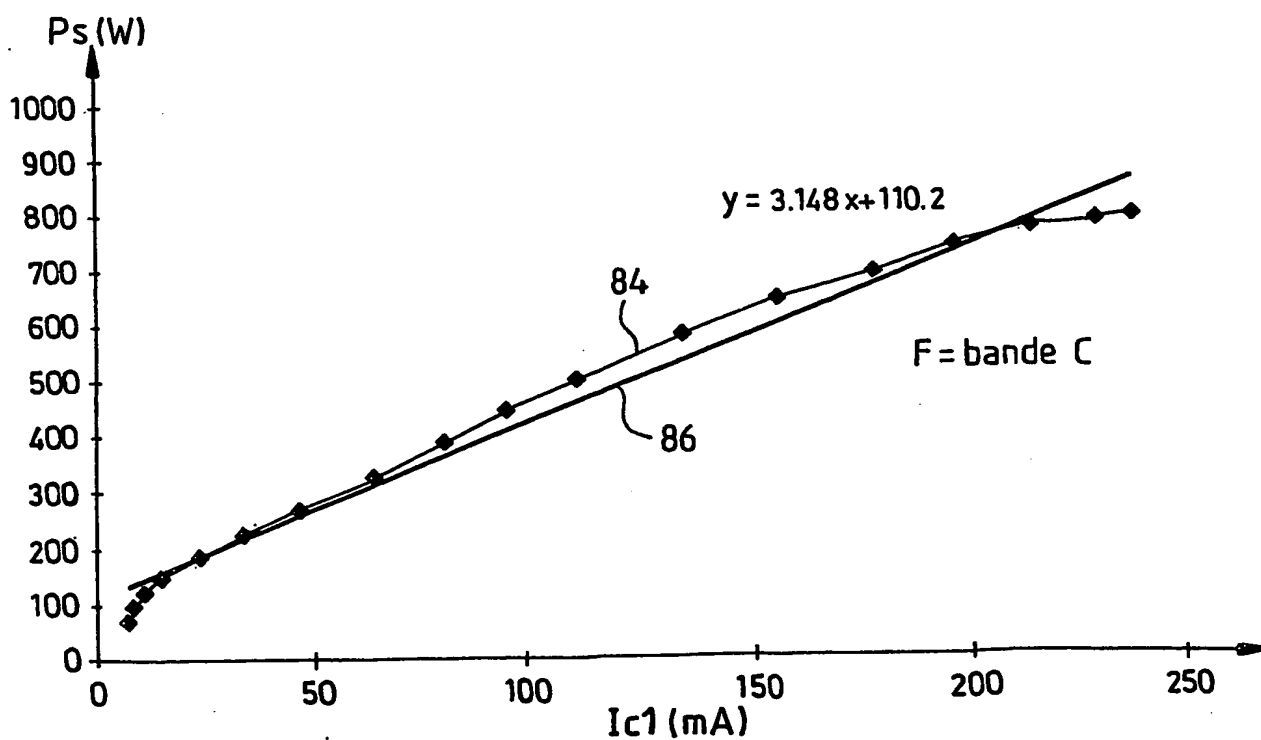


FIG. 6b

5/8

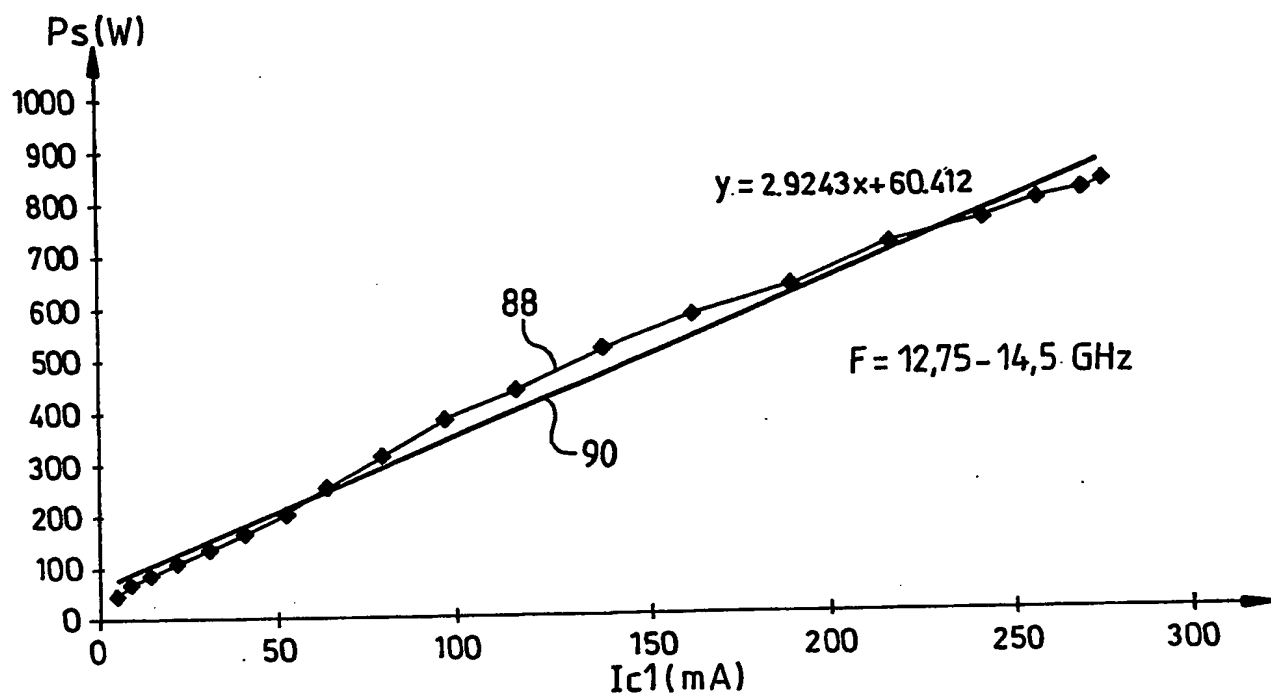


FIG.6c

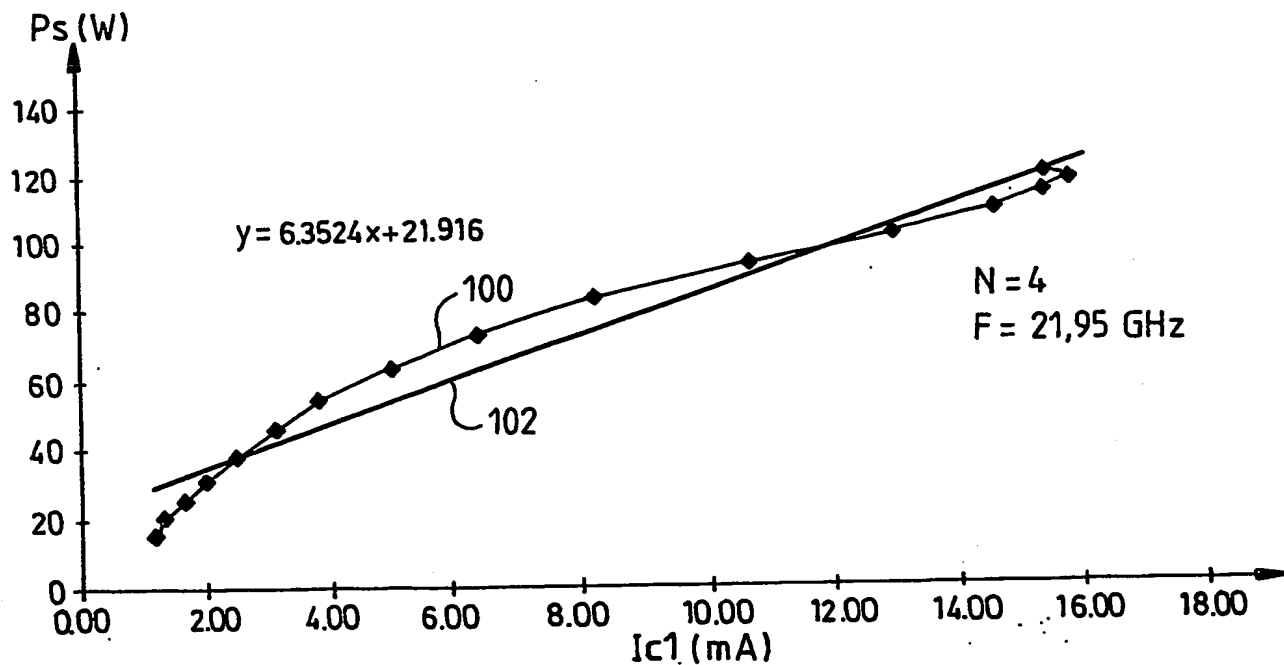


FIG.7a

6/8

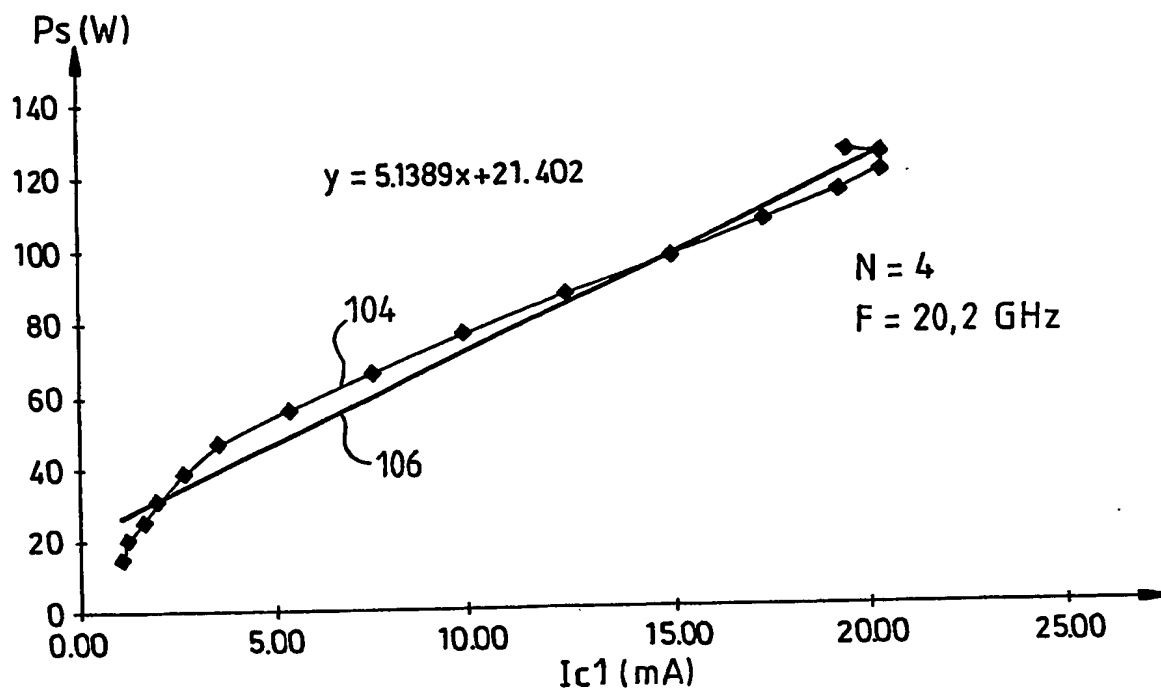


FIG. 7b

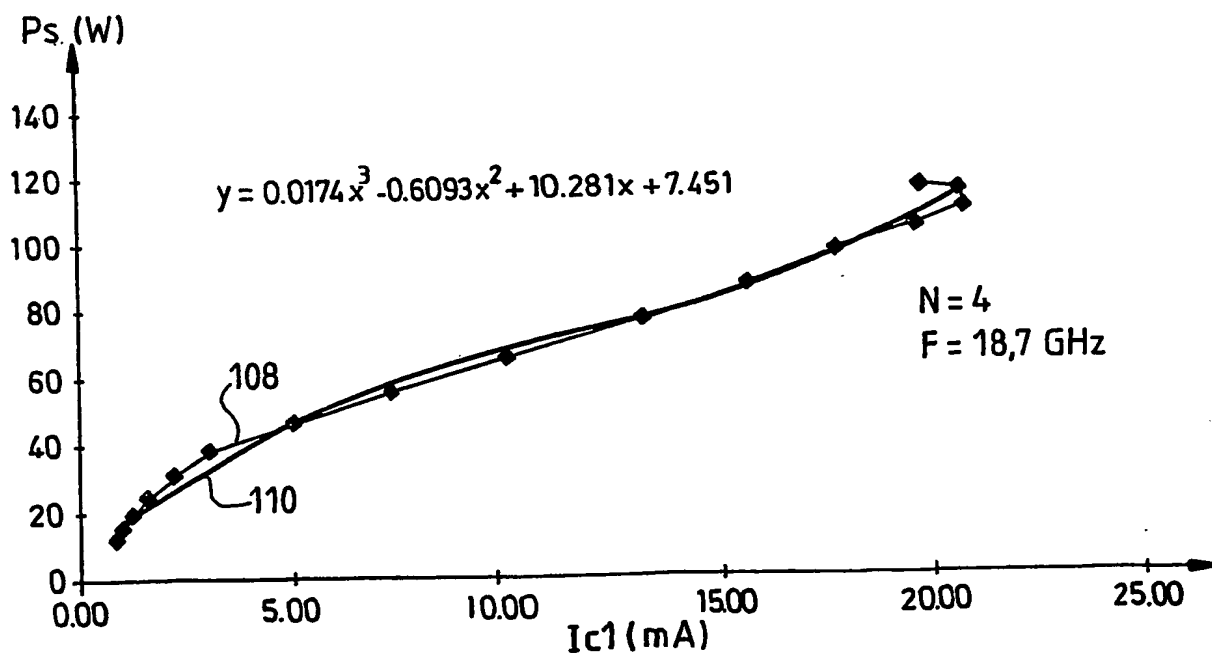


FIG. 7c

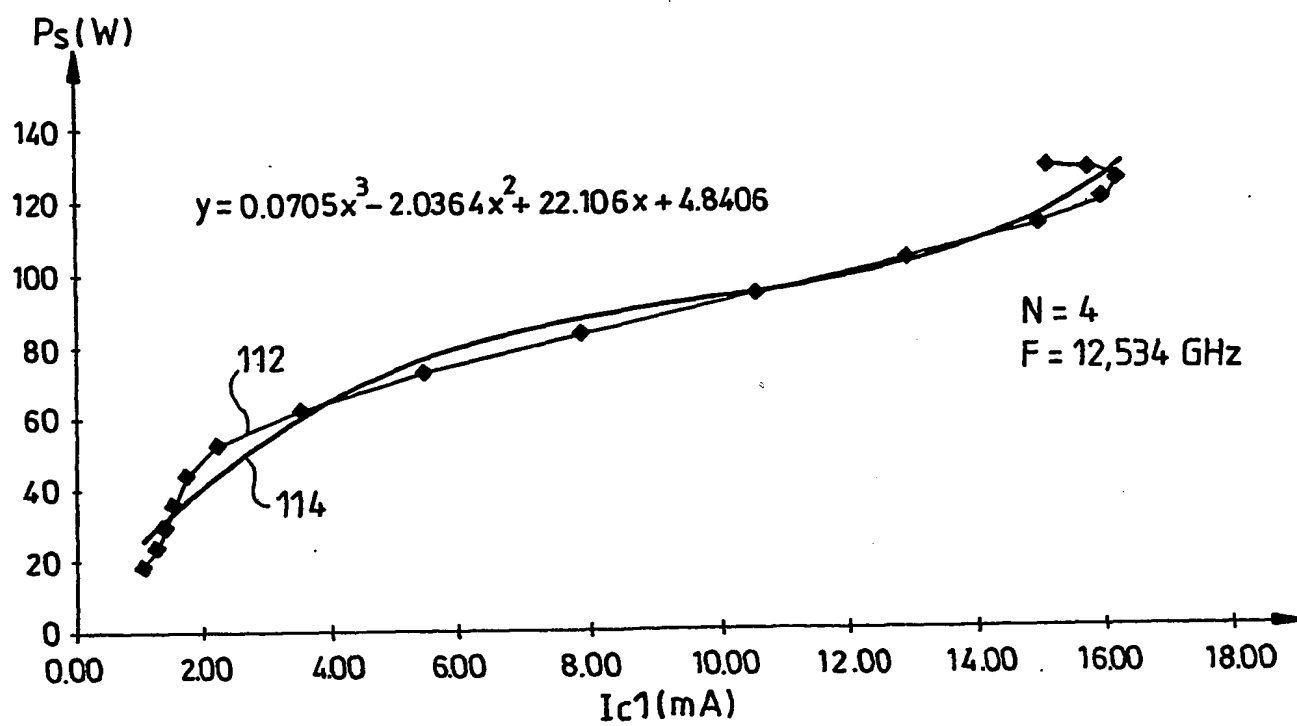


FIG.7d

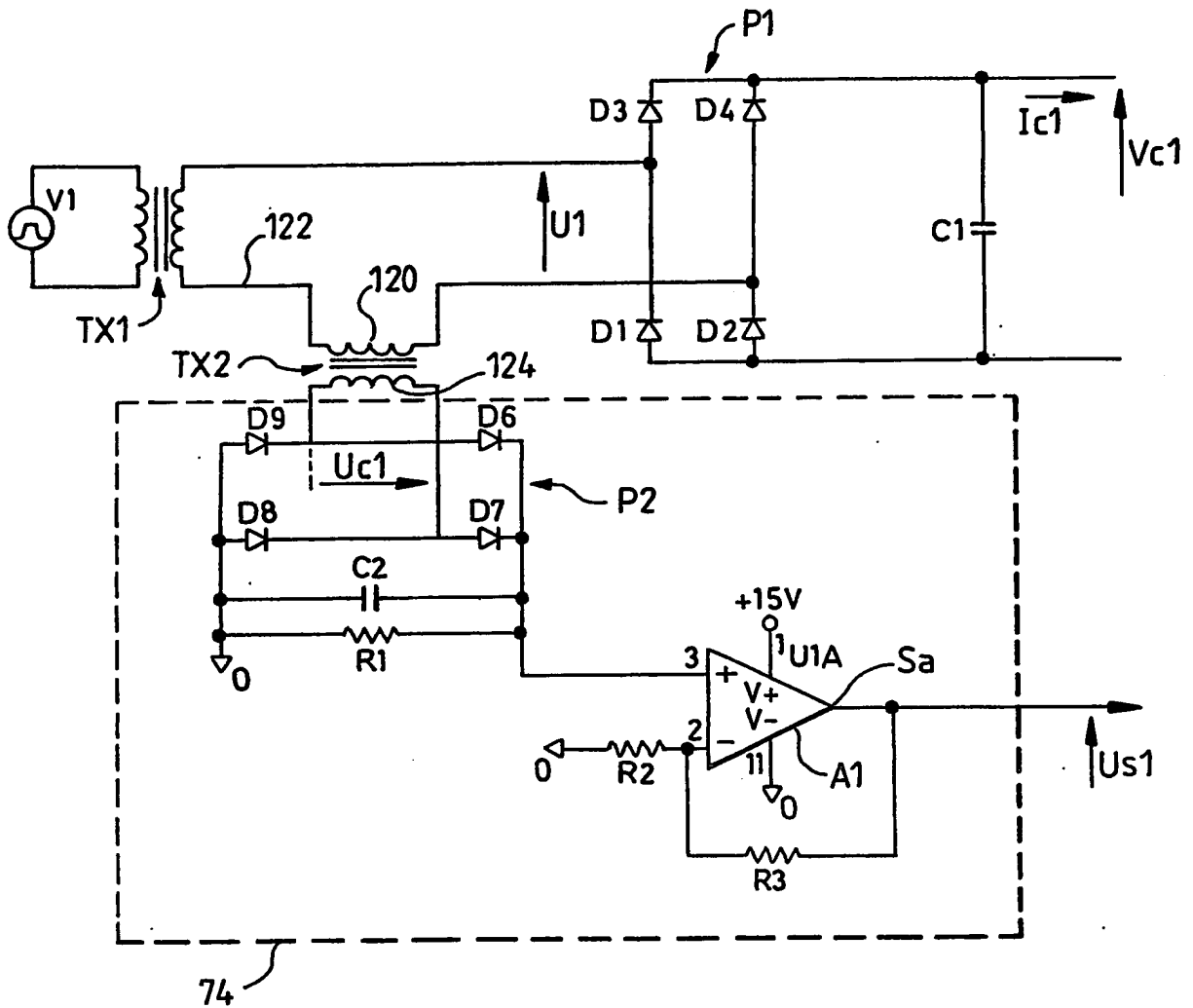


FIG.8